

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ДЕФЕКТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ГЦК МАТРИЦЕЙ

Кулаева Н.А.

*Руководители – профессор, д. ф.-м. н. Ковалевская Т.А.,
доцент, к. ф.-м. н. Данейко О.И.*

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, scorpioncchic@rambler.ru

В настоящее время научно-техническое развитие мирового сообщества ставит перед материаловедческими науками задачи создания принципиально новых материалов с уникальными свойствами. Композиционные материалы постепенно занимают все большее место в нашей жизни. Области их применения многочисленны: авиационно-космическая, энергетическое турбостроение, автомобильная и горнорудная, металлургическая промышленность, ракетостроение и строительство. Известно, что прочность и пластичность сложных гетерофазных материалов - характеристики, очень чувствительные к структурному состоянию и структурным превращениям. Поэтому исследование дефектного строения, генерации дефектов при пластической деформации, их взаимного превращения составляет основу совершенствования гетерофазных материалов с упрочняющими наночастицами, и возможность создания новых материалов.

Для анализа влияния температуры деформации на закономерности деформационного упрочнения и состояние дефектной подсистемы дисперсно-упрочненных материалов использована математическая модель пластической деформации для ГЦК материалов с недеформируемыми упрочняющими частицами [1, 2]. Предполагается, что частицы являются некогерентными, сферическими, их диаметр δ варьируется в пределах от 5 нм до 20 нм, расстояние Λ_p между ними изменяется от 50 нм до 100 нм.

Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений эволюции типа «рождение – гибель», каждому элементу деформационной дефектной структуры соответствует дифференциальное уравнение баланса этого дефекта. В модели учтены релаксационные и аннигиляционные процессы, связанные с генерацией дефектов различного типа. Каждый параметр модели имеет определенный физический. В общем виде систему дифференциальных уравнений баланса деформационных дефектов можно представить следующим образом [1]:

$$\frac{d\bar{X}}{da} = G(\bar{X}, \bar{Y}, a, t) - A(\bar{X}, \bar{Y}, a, t) - R(\bar{X}, \bar{Y}, a, t),$$

где \bar{X} – вектор переменных, характеризующих дефектную среду, \bar{Y} – вектор переменных, характеризующих внешнее воздействие, a – степень деформации сдвига, t – время, $G(\bar{X}, \bar{Y}, a, t)$, $A(\bar{X}, \bar{Y}, a, t)$, $R(\bar{X}, \bar{Y}, a, t)$ – функции

генерации, аннигиляции и релаксационной трансформации деформационных дефектов.

Математическая модель включает уравнения баланса сдвигообразующих дислокаций (плотность ρ_m), призматических дислокационных петель межузельного типа (ρ_p^i) и вакансионного типа (ρ_p^v), дислокаций в дипольных конфигурациях вакансионного типа (ρ_d^v) и межузельного типа (ρ_d^i), межузельных атомов (концентрация c_i), моновакансий (c_{1v}) и бивакансий (c_{2v}), а также уравнение, связывающее скорость деформации с внешним воздействием и дефектностью деформируемого материала.

Результаты расчетов получены для случая деформирования кристалла с постоянной скоростью деформации $\dot{\epsilon} = \text{const}$. Основные расчеты проведены для значений параметров модели, характерных для дисперсно-упрочненных материалов с медной матрицей и при начальных условиях: $\rho_m = 10^{12} \text{ м}^{-2}$, $\rho_p^v = \rho_p^i = \rho_d^v = \rho_d^i = 0$, $c_v = c_i = c_{2v} = 0$.

При увеличении температуры деформации от 93 К до 393 К увеличивается плотность сдвигообразующих дислокаций и уменьшается плотность дислокаций в призматических петлях вакансионного типа при всех скоростях деформации (рис. 1). При средних температурах (393 К–793 К) скоростная и температурная зависимость плотности как сдвигообразующих дислокаций, так и дислокаций в призматических петлях не выражена (рис.1). При высоких температурах (793К-893К) наблюдается уменьшение плотности сдвигообразующих дислокаций и дислокаций в призматических петлях за счет термодинамически равновесных точечных дефектов. Это особо заметно при низких скоростях деформации (рис 1, а, б, кривая 3).

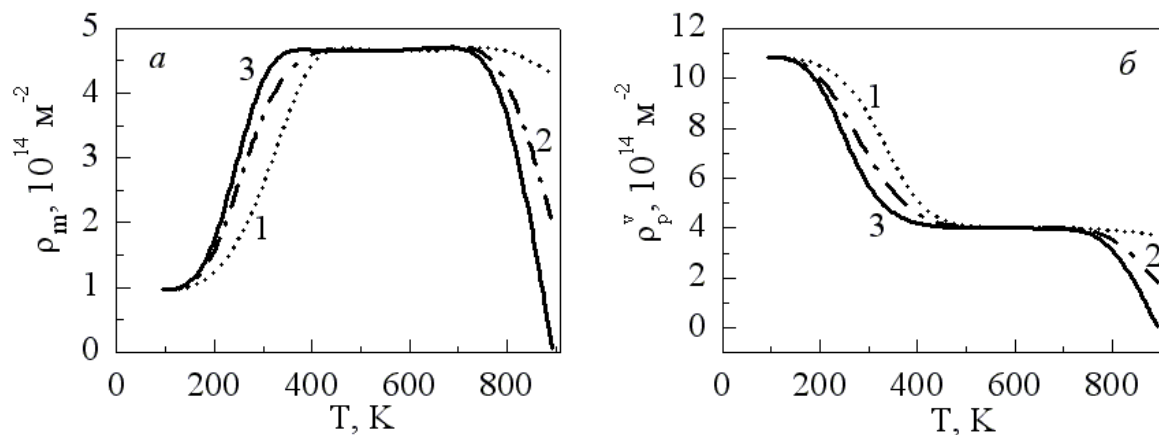


Рис. 1. Температурная зависимость плотности: а – сдвигообразующих дислокаций, б – призматических петель вакансионного типа. Размер частиц 10 нм, расстояние между частицами 100 нм, степень деформации 0,3, скорость деформации: 1 – 10^{-3} с^{-1} , 2 – 10^{-4} с^{-1} , 3 – 10^{-5} с^{-1} .

На рис. 2 приведена температурная зависимость напряжения течения дисперсно-упрочненного материала с наночастицами. При более крупных частицах и при меньших расстояниях между ними наблюдается большее деформационное упрочнение при всех степенях деформации (рис. 2). Скоростная зависимость напряжения течения особо выражена при высоких

температурах за счет аннигиляционных процессов с участием термодинамически равновесных точечных дефектов.

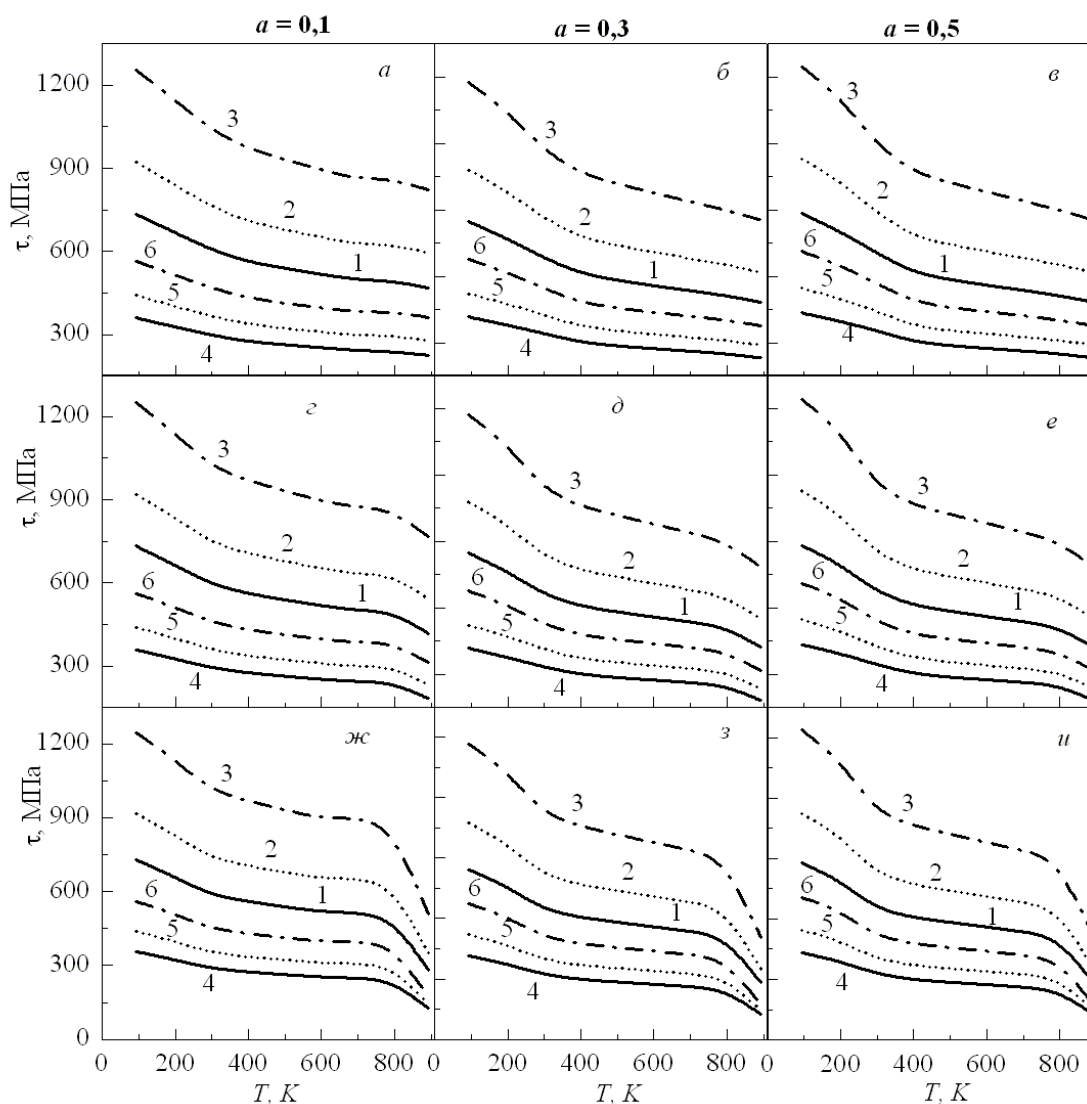


Рис.2. Зависимость напряжения течения от температуры деформации. Размер упрочняющих частиц, нм: 1, 4 – 5, 2, 5 – 10, 3, 6 – 20. Расстояние между частицами, нм: 1, 2, 3 – 50, 4, 5, 6 – 100, скорость деформации, c^{-1} : а, б, в – 10^{-3} , г, д, е – 10^{-4} , ж, з, и – 10^{-5} .

Литература

1. Попов Л.Е., Ковалевская Т.А., Колупаева С.Н. Математическое моделирование пластической деформации скольжения в дисперсно-упрочненных материалах / Структурно-фазовые состояния и свойства металлических систем. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – С. 135-163.
2. Ковалевская Т.А., Виноградова И.В., Попов Л.Е. Математическое моделирование пластической деформации гетерофазных сплавов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. – 168 с.